

ANWENDUNG DES CASE-BASED REASONING BEI DER ERMITTLUNG VON VARIANTEN FÜR DEN OBERBAU VON VERKEHRSFLÄCHEN

M. König^{*}, H. Lang

^{} Bauhaus-Universität Weimar, Theoretische Methoden des Projektmanagements,
Marienstraße 7, D-99423 Weimar, Telefon +49 (0) 36 43/58 48 25*

E-mail: markus.koenig@bauing.uni-weimar.de

Keywords: Case-Based Reasoning, Ablaufvarianten, Straßenoberbau, Ähnlichkeitsmaße

Abstract: Für die Ausführung des Oberbaus von Verkehrsflächen existiert in Abhängigkeit von bestimmten örtlichen und projektspezifischen Voraussetzungen eine Vielzahl von verschiedenen Ablaufvarianten. Aufgrund von Erfahrungen der Projektplaner werden bei ähnlichen Voraussetzungen häufig gleichartige Ablaufvarianten gewählt. Um eine mögliche Lösungsvariante für den Straßenoberbau im Rahmen eines neuen Projektes zu erhalten, sollten daher nicht nur die gesetzlichen Richtlinien sondern auch bereits beendete Projekte berücksichtigt werden. Im Rahmen eines Wissenschaftlichen Kollegs an der Bauhaus-Universität Weimar wurde die Anwendung des Case-Based Reasoning für die Auswahl von Ablaufvarianten für die Ausführung des Oberbaus von Verkehrsflächen untersucht. In diesem Beitrag werden die grundlegenden Konzepte des Case-Based Reasoning und die Bestimmung von ähnlichen Problemen anhand einfacher Beispiele aus dem Straßenoberbau dargestellt.

1 EINLEITUNG

Die Wiederverwendung von Problemlösungen ist auf Grund des vorherrschenden Unikatcharakters von Bauwerken in der Praxis ein Problem. Bei Bedarf werden individuelle situative Problemlösungen entwickelt [1]. Fremde Erfahrungen aus gleichartigen bereits durchgeführten Projekten werden dabei häufig nicht im notwendigen Maß berücksichtigt. Obwohl Bauwerke Unikate sind, können in der Regel viele Detaillösungen adaptiert wieder verwendet oder schon einmal aufgetretene Fehler in Zukunft vermieden werden. Zur Verbesserung des Wissenstransfers in Unternehmen existiert in der Literatur eine Vielzahl von theoretischen Ansätzen. Auch im Bauwesen nimmt der Transfer von Projektwissen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit an Bedeutung zu [1] [2].

Im Rahmen eines aktuellen Forschungsvorhabens an der Bauhaus-Universität Weimar wird unter anderem die Anwendung des Case-Based Reasoning (dtsch. Fallbasiertes Schließen) bei der Ermittlung von ähnlichen Ausführungsvarianten im Bauwesen untersucht. Dieser Beitrag entstand im Rahmen der Betreuung eines Wissenschaftlichen Kollegs an der Bauhaus-Universität Weimar und stellt mögliche Vorgehensweisen zur Bestimmung der Ähnlichkeit von Problemstellungen im Bereich des Oberbaus von Verkehrsflächen vor. Die einfache und transparente Bestimmung von so genannten Ähnlichkeitsmaßen zwischen verschiedenen Problemstellungen ist eine Hauptaufgabe bei der Anwendung des Case-Based Reasoning.

2 GRUNDLAGEN DES CASE-BASED REASONING

Mit der Wiederverwendung von Lösungen beschäftigt sich das Forschungsgebiet Case-Based Reasoning [3] [4] [5] [6] [7]. Das Case-Based Reasoning basiert auf der Annahme, dass ähnliche Probleme ähnliche Lösungen besitzen [7]. Die gemachten Erfahrungen werden aufbereitet und in der Fallbasis zur Wiederverwendung abgelegt. Für die Lösung eines neuen Problems, können ähnliche und schon gelöste Probleme herangezogen werden. Die gespeicherten Lösungen können beispielsweise als Lösungsvorschlag oder auch als warnendes Beispiel interpretiert werden [5] [7]. Das zentrale Element beim Case-Based Reasoning ist eine so genannte Fallbasis. In der Fallbasis sind verschiedene Fälle gespeichert. Ein Fall F besteht im Wesentlichen aus einer Problembeschreibung p und eine zugehörige Lösung l .

$$F = (p, l) \quad (1)$$

Wurde für ein neues Problem eine Lösung gefunden, wird diese zusammen mit dem Problem als neuer Fall in der Fallbasis gespeichert. Auf diese Art und Weise wird die Fallbasis im Laufe der Zeit schrittweise aufgebaut [5] [7]. Die Vorgehensweise beim Case-Based Reasoning wurde 1994 durch Aamodt und Plaza als so genannter CBR-Zyklus wie folgt dargestellt [3].

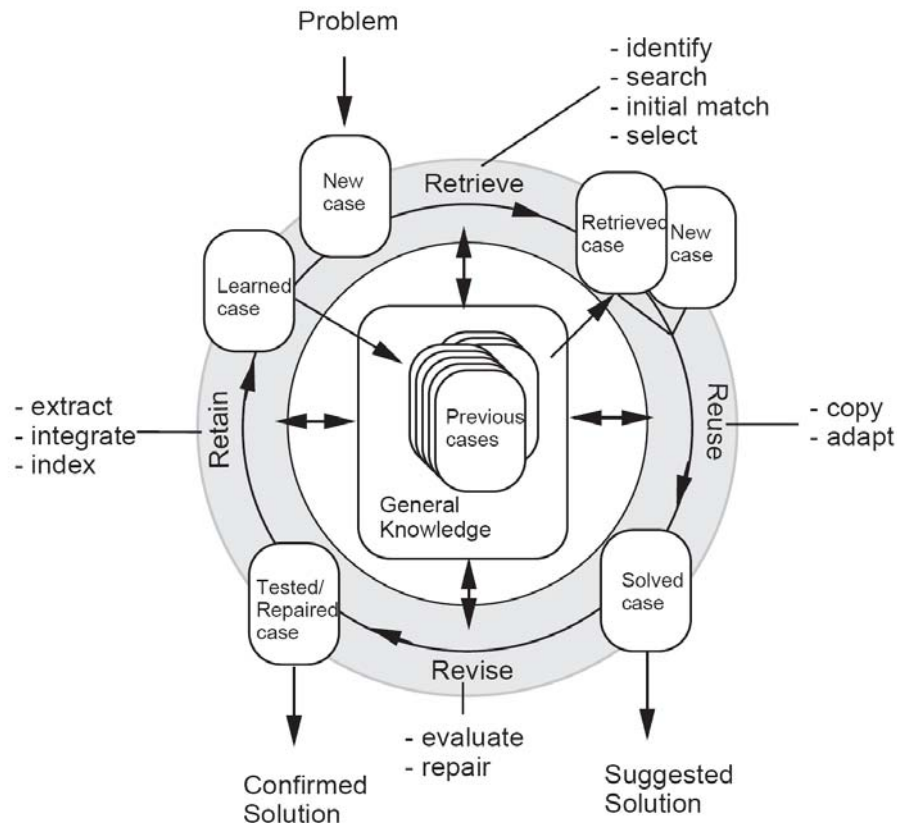


Bild 1: CBR-Zyklus nach Aamodt und Plaza aus [3]

Der CBR-Zyklus nach Aamodt und Plaza besteht aus vier Schritten. Im Retrieve-Schritt wird das neue Problem mit den gespeicherten Problemen verglichen. Nur die ähnlichsten gespeicherten Probleme werden bei Lösungsfindung berücksichtigt. Die Ermittlung von ähnlichen gespeicherten Problemen erfolgt in der Regel durch die Berechnung von so genannten Ähnlichkeitsmaßen. Die Lösungen der ähnlichsten Probleme werden beim Reuse-Schritt als Grundlage zur Lösungsermittlung verwendet. Die gespeicherten Lösungen können entweder direkt, teilweise oder angepasst übernommen werden. Im nachfolgenden Revise-Schritt wird die Lösung des neuen Problems angewendet und bewertet. Wird die Lösung als sinnvoll betrachtet, wird diese im Retain-Schritt mit dem zugehörigen Problem aufbereitet und als neuer Fall in die Fallbasis aufgenommen [3] [5] [7].

3 ÄHNLICHKEITSMASSE

Die Ähnlichkeit zweier Problemen p und q wird auf der Grundlage der Ähnlichkeitsmaße der einzelnen Attribute ermittelt. Das Ähnlichkeitsmaß eines Attributs x der beiden Probleme wird als $sim(p(x), q(x))$ definiert und liefert einen Wert zwischen Null und Eins. Ein Wert nahe Null definiert eine geringe Ähnlichkeit und ein Wert nahe Eins eine große Ähnlichkeit. Bei reellen Attributen bieten sich beispielsweise normierte Differenzen zur Berechnung von Ähnlichkeitsmaßen an. Jedoch kann ein Vergleich auch auf der Grundlage von Klasseneinteilungen vorgenommen werden [7]. Zusätzlich kann für jedes Attribut x noch ein nichtnegatives Gewicht w festgelegt werden. Die Gesamtähnlichkeit zweier Probleme ergibt sich aus der gewichteten Summe der einzelnen Ähnlichkeitsmaße [7]. Dieses Ähnlichkeitsmaß wird auch Verallgemeinerte Ähnlichkeit genannt.

$$sim(p, q) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i sim(p(x_i), q(x_i))}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

Ein weiteres Ähnlichkeitsmaß ist das Footprint Similarity Concept nach Tversky [8]. Dieses Konzept vergleicht die Ähnlichkeit der Struktur der gegebenen Probleme p und q miteinander. Es wird die Anzahl der gleichen und die Anzahl der verschiedenen Attribute berücksichtigt. Die Einzelnen Ergebnisse können wie bei der Verallgemeinerten Ähnlichkeit gewichtet und normiert werden.

$$T_N(p, q) = \frac{(\alpha A - \beta B - \gamma C)}{\alpha (A + B + C)} \text{ mit}$$

A Anzahl der gleichen Attribute in p und q
 B Anzahl der Attribute, die zusätzlich in p enthalten sind
 C Anzahl der Attribute, die zusätzlich in q enthalten sind
 α, β, γ Gewichte der Teilergebnisse

(3)

4 ANWENDUNGSGEBIET STRAßENOVERBAU

Der Oberbau von Verkehrsfläche ist in Deutschland durch entsprechende Richtlinien [8] festgelegt. Bei gleichartigen Randbindungen existiert jedoch immer noch eine Vielzahl von sinnvollen Ablaufvarianten für die Ausführung. Bei der Festlegung eines Ausführungsablaufs berücksichtigt das Projektmanagement in der Regel auch individuelle Erfahrungen. Der Zugriff auf fremde Erfahrungen ist jedoch in den meisten Fällen nicht gegeben. Im Rahmen des aktuellen Forschungsvorhabens soll die Festlegung eines Ablaufs für die Ausführung des Straßenoberbaus durch das Case-Based Reasoning sinnvoll unterstützt werden.

Der Vergleich von Problemen aus dem Straßenoberbau basiert auf verschiedenen Attributen. In Tabelle 1 sind einige wesentliche Attribute mit ihren Ausprägungen aufgeführt. Auf der Grundlage dieser Attribute werden für ein neues Problem die ähnlichsten Probleme in der aktuellen Fallbasis ermittelt.

Attribut	Ausprägungen (Wertebereich)
Beanspruchung (10t-Achsübergänge in Mio.)] 0, ..., ∞ [
Straßenart	{ Schnellverkehrsstraße, Industriesammelstraße, Hauptverkehrsstrasse, Industriestraße, ... }
Frostempfindlichkeitsklasse	{ F1, F2, F3 }
Frosteinwirkungszone	{ I, II, III }
Lage der Gradienten	{ Einschnitt, Ortslage, Damm }
Wasserverhältnisse	{ günstig, ungünstig }
Fahrbahndecke	{ Beton, Asphalt, Pflaster }
Tragschichtmaterial vorhanden	{ ja, nein }
Zeitlicher Rahmen	{ sehr kritisch, eher kritisch, neutral, eher unkritisch }

Tabelle 1: Attribute und ihre Ausprägungen für Problemstellung aus dem Straßenoberbau

Im ersten Schritt wird für jedes Attribut die Berechnung des Ähnlichkeitsmaßes festgelegt. Hierzu werdeb die einzelnen Ausprägungen auf ganze Zahlen abgebildet, um normierte

Differenzen berechnen zu können. Eine Differenz von Null soll dem Ähnlichkeitsmaß Eins und eine Differenz von Eins dem Ähnlichkeitsmaß Null entsprechen. Die Zahlen wurden auf der Grundlage der RStO-01 [9] sowie subjektiven Einschätzungen festgelegt.

Beanspruchung	Wert
über 32,0	6
über 10,0 bis 32,0	5
über 3,0 bis 10,0	4
über 0,8 bis 3,0	3
über 0,3 bis 0,8	2
über 0,1 bis 0,3	1
bis 0,1	0
Normierungsfaktor	1/6

Straßenart	Wert
Schnellverkehrsstraße, Industriesammelstraße	6
Hauptverkehrsstraße, Industriestraße, Straße im Gewerbebetrieb	4
Wohnsammelstraße, Fußgängerzone mit Ladeverkehr	2
Anliegerstraße, befahrbarer Wohnweg, Fußgängerzone	0
Normierungsfaktor	1/6

Frostempfindlichkeitsklasse	Wert
F1	0
F2	1
F3	2
Normierungsfaktor	1/2

Frosteinwirkungszone	Wert
I	0
II	1
III	2
Normierungsfaktor	1/2

Lage der Gradienten	Wert
Einschnitt	4
Ortslage	2
Damm	0
Normierungsfaktor	1/4

Wasserverhältnisse	Wert
günstig	0
ungünstig	1
Normierungsfaktor	1

Fahrbahndecke	Wert
Beton	0
Asphalt	1
Pflaster	5
Normierungsfaktor	1/5

Tragschichtmaterial vorhanden	Wert
ja	1
nein	0
Normierungsfaktor	1

Zeitlicher Rahmen	Wert
sehr kritisch	6
eher kritisch	4
neutral	1
eher unkritisch	0
Normierungsfaktor	1/6

Tabelle 2: Ausprägungen der Attribute mit Werten für die Ähnlichkeitsbestimmung

Für die Berechnung der Gesamtähnlichkeit werden den einzelnen Attributen Gewichte zugeordnet. Die verschiedenen Gewichte sind in Tabelle 3 dargestellt.

Attribut	Gewicht
Beanspruchung	1,00
Straßenart	0,30
Frostempfindlichkeitsklasse	0,70
Frosteinwirkungszone	0,60
Lage der Gradienten	0,05
Wasserverhältnisse	0,10
Fahrbahndecke	0,20
Tragschichtmaterial vorhanden	0,08
Zeitlicher Rahmen	0,60

Tabelle 3: Gewichte der einzelnen Attribute

Auf Grundlage der Werte und Gewichte können nun ein Ähnlichkeitsmaß zweier Probleme aus dem Straßenoberbau berechnet werden. Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein neues Problem mit Problemen zweier gespeicherter Fälle verglichen. Die Ausprägungen der Attribute aller drei Probleme sind in Tabelle 4 dargestellt.

Attribut	Problem Fall p	Neues Problem z	Problem Fall q
Beanspruchung	38,0	30	14
Straßenart	Schnellverkehrsstr.	Industriesammelstr.	Industriesammelstr.
Frostempfindlichkeitskl.	F1	F2	F2
Frosteinwirkungszone	I	II	III
Lage der Gradienten	nicht definiert	nicht definiert	Einschnitt
Wasserverhältnisse	günstig	günstig	ungünstig
Fahrbahndecke	Beton	nicht definiert	Asphalt
Tragschichtm. vorh.	nicht definiert	ja	nein
Zeitlicher Rahmen	eher kritisch	neutral	nicht definiert

Tabelle 4: Attributwerte der drei untersuchten Probleme

Bei der Berechnung der Verallgemeinerten Ähnlichkeit zweier Fälle können nur die Attribute berücksichtigt werden, die für beide Probleme einen definierten Wert besitzen. Das Ähnlichkeitsmaß des Attributs *Beanspruchung* zwischen den beiden Problemen p und z berechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{sim}(p(x_1), z(x_1)) &= w_1 \cdot (1 - (nf_1 \cdot (p(x_1) - z(x_1)))) \\ &= 1,00 \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{6} \cdot (6 - 5)\right)\right) \approx 0,83 \end{aligned} \quad (4)$$

Attribut	w	Norm.-faktor	p	Ähnlichkeit p und z	z	Ähnlichkeit q und z	q
Beanspruchung	1,00	1/6	6	0,83	5	1,00	5
Straßenart	0,30	1/6	6	0,30	6	0,30	6
Frostempfindlichkeitskl.	0,70	1/2	0	0,35	1	0,70	1
Frosteinwirkungszone	0,60	1/2	0	0,30	1	0,30	2
Lage der Gradienten	0,05	1/4	-	-	-	-	4
Wasserverhältnisse	0,10	1/1	0	0,10	0	0,00	1
Fahrbahndecke	0,20	1/5	0	-	-	-	1
Tragschichtm. vorh.	0,08	1/1	-	-	1	0,00	0
Zeitlicher Rahmen	0,60	1/6	4	0,3	1	-	-

Tabelle 5: Verallgemeinerte Ähnlichkeit der einzelnen Attribute

Nach dem die Ähnlichkeitsmaße der einzelnen Attribute unter Berücksichtigung des jeweiligen Gewichtes berechnet wurden, kann nun die Gesamtähnlichkeit zwischen den Problemen p und z sowie q und z berechnet werden. In die Summe der Gewichte gehen nur die Werte ein, für welche auch ein Vergleich definiert ist.

$$\text{sim}(p, z) = \frac{(0,83 + 0,30 + 0,35 + 0,3 + 0,10 + 0,3)}{(1 + 0,3 + 0,7 + 0,6 + 0,1 + 0,6)} = \frac{2,18}{3,3} \approx 0,66 \quad (5)$$

$$\text{sim}(q, z) = \frac{(1,00 + 0,30 + 0,70 + 0,30 + 0,00 + 0,00)}{(1 + 0,3 + 0,7 + 0,6 + 0,1 + 0,08)} = \frac{2,30}{2,78} \approx 0,83 \quad (6)$$

Auf der Grundlage der Verallgemeinerten Ähnlichkeit besitzt das neue Problem z mit dem Problem von Fall p eine Ähnlichkeit von 0,66 und mit dem Problem von Fall q eine Ähnlichkeit von 0,83. Nach der Festlegung, dass Werte nahe Null eine geringe Ähnlichkeit definieren, besitzt das Problem q eine größere Ähnlichkeit mit dem neuen Problem z als das gespeicherte Problem p . Daraus folgt, dass zur Lösungsfindung des Problems z eher das Problem q geeignet sein könnte.

Die Bestimmung der Gesamtähnlichkeit kann jedoch nicht ohne Berücksichtigung der Struktur der Probleme erfolgen. Bei der Verallgemeinerten Ähnlichkeit werden nur die bei beiden Problemen vorhandenen Attributwerte betrachtet. Besitzen zwei Fälle beispielsweise nur genau ein gleiches Attribut mit genau dem gleichen Wert, würde ein Ähnlichkeitsmaß von Eins berechnet werden. Die Probleme können jedoch eine völlig andere Struktur haben und dadurch eigentlich keine große Ähnlichkeit besitzen. Diese Fehleinschätzung kann zum Beispiel durch die Anwendung des Footprint Similarity Concepts zu einem gewissen Maß behoben werden.

Attribut	Werte p	Anzahl bzgl. p und z	Werte z	Anzahl bzgl. q und z	Werte q
Beanspruchung	6	A	5	A	5
Straßenart	6	A	6	A	6
Frostempfindlichkeitskl.	0	A	1	A	1
Frosteinwirkungszone	0	A	1	A	2
Lage der Gradienten	-	-	-	B	4
Wasserverhältnisse	0	A	0	A	1
Fahrbahndecke	0	B	-	B	1
Tragschichtm. vorh.	-	C	1	A	0
Zeitlicher Rahmen	4	A	1	C	-
Summe A		7		6	
Summe B		1		2	
Summe C		1		1	

Tabelle 6: Berechnung nach dem Footprint Similarity Concept

Für die Berechnung des Footprint Similarity Ähnlichkeitsmaßes werden für die Gewichte α, β, γ die Werte $\alpha = 0,7, \beta = 0,2$ und $\gamma = 0,1$ angenommen. Insgesamt werden neun Attribute bei der Berechnung berücksichtigt.

$$T_N(p, z) = \frac{(0,7 \cdot 6 - 0,2 \cdot 1 - 0,1 \cdot 1)}{0,7 \cdot (6 + 1 + 1)} \approx 0,70 \quad (7)$$

$$T_N(q, z) = \frac{0,7 \cdot 6 - 0,2 \cdot 2 - 0,1 \cdot 1}{0,7 \cdot (6 + 2 + 1)} \approx 0,59 \quad (8)$$

Nach dem Footprint Similarity Ähnlichkeitsmaß ist in diesem Beispiel nun das Problem p bezogen auf das neue Problem z ähnlicher als das Problem q .

Für die Ähnlichkeitsbestimmung zweier Probleme ist eine Kombination aus Verallgemeinerter Ähnlichkeit und Footprint Similarity Concept sinnvoll. Beide Ähnlichkeitsmaße sind normiert und können somit durch die Einführung von Gewichten miteinander addiert werden. Im Rahmen des Beispiels wurde für die Verallgemeinerte Ähnlichkeit ein Gewicht von 0,7 und für das Footprint Similarity Ähnlichkeitsmaß ein Gewicht 0,3 festgelegt. Es ergeben sich somit folgende Gesamtähnlichkeiten für die Probleme p und q bzgl. des neuen Problems z :

$$\text{sim}(p, z) = 0,6 \cdot 0,66 + 0,4 \cdot 0,70 \approx 0,67 \quad (9)$$

$$\text{sim}(q, z) = 0,6 \cdot 0,83 + 0,4 \cdot 0,59 \approx 0,75 \quad (10)$$

Die kombinierte Ähnlichkeitsberechnung ergibt, dass das Problem q bzgl. des Problems z eine größere Ähnlichkeit besitzen als das Problem p . In diesem Beispiel würde daher das Problem q mit der zugehörigen Lösung als Grundlage für die Lösungsfindung des Problems z herangezogen werden. Die Adaption der Lösung ist jedoch nicht trivial und wird im Rahmen dieses Beitrages nicht behandelt.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit Hilfe des Case-Based Reasoning können vorhandene Erfahrungen bei der Entwicklung von neuen Lösungen wieder verwendet werden. Durch die Berechnung von attributbasierten sowie strukturbasierten Ähnlichkeitsmaßen können ähnlich gelöste Probleme in einer Fallbasis gesucht werden. Ähnliche Probleme besitzen häufig ähnliche Lösungen und können daher für das aktuelle Problem zur Lösungsfindung sinnvoll eingesetzt werden. Im Rahmen dieses Beitrags werden Ansätze zur Anwendung des Case-Based Reasoning für den Straßenoberbau aufgezeigt. Eine einheitliche Klassifizierung der Attribute für Probleme aus dem Straßenoberbau ermöglicht die Berechnung von kombinierten attribut- und strukturbasierten Ähnlichkeitsmaßen. Im Rahmen aktueller Forschungsarbeiten soll eine entsprechende Fallbasis strukturiert, implementiert und aufgebaut werden. Ziel ist es, ein Assistenzsystem zur Auswahl und Bewertung von Ausführungsvarianten am Beispiel des Straßenoberbaus umzusetzen. Das Wissensmanagement im Bauunternehmen soll dadurch nachhaltig verbessert werden.

6 REFERENZEN

- [1] Schmidle, C. M.: Projektbasiertes Prozessmodell für ereignisorientiertes Wissensmanagement in mittleren und größeren Bauunternehmen, vdf Hochsch.-Verl. an der ETH Zürich, Zürich, 2004
- [2] Borner, R: Prozessmodell für projekt- und erfolgsorientiertes Wissensmanagement zur kontinuierlichen Verbesserung in Bauunternehmen, Eidgen. Techn. Hochschule Dissertation, Zürich, 2004
- [3] Aamodt, A.; Plaza, E.: Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches, AI Communications 7(1), S. 39-59, 1994
- [4] Kolodner, J: Case-Based Reasoning, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, 1993
- [5] Richter, M. M.: Fallbasiertes Schließen, in: Görz, G.; Rollinger, C.-R.; Schneeberger, J. (Hrsg.): Handbuch der Künstlichen Intelligenz. 4. Auflage, München/Wien, 2003
- [6] Richter, M. M.: Chapter 1 – Introduction in Lenz, M.; Bartsch-Spörl, B.; Burkhard, H.-D.; Wess S. (Hrsg.): Case-Based Reasoning Technology - From Foundations to Applications, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1998
- [7] Beierle, Ch.; Kern-Insberner, G.: Methoden wissensbasierter Systeme - Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen, Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Wiesbaden, 2003
- [8] Tversky, A.: Features of similarity, Psychological Review 84(4), 327-352, 1977
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: RStO-01 - Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, FGSV-Verlag, Köln, 2001